

コランダムの成長異方性を用いた 星周ダスト形成環境の推定

*瀧川 晶, 橘 省吾, 永原 裕子, 小澤 一仁

東京大学 地球惑星科学専攻

星周ダスト

μm 程度の大きさの固体微粒子

e.g., ケイ酸塩, 酸化物, 金属, 有機物, 氷

原始惑星系円盤

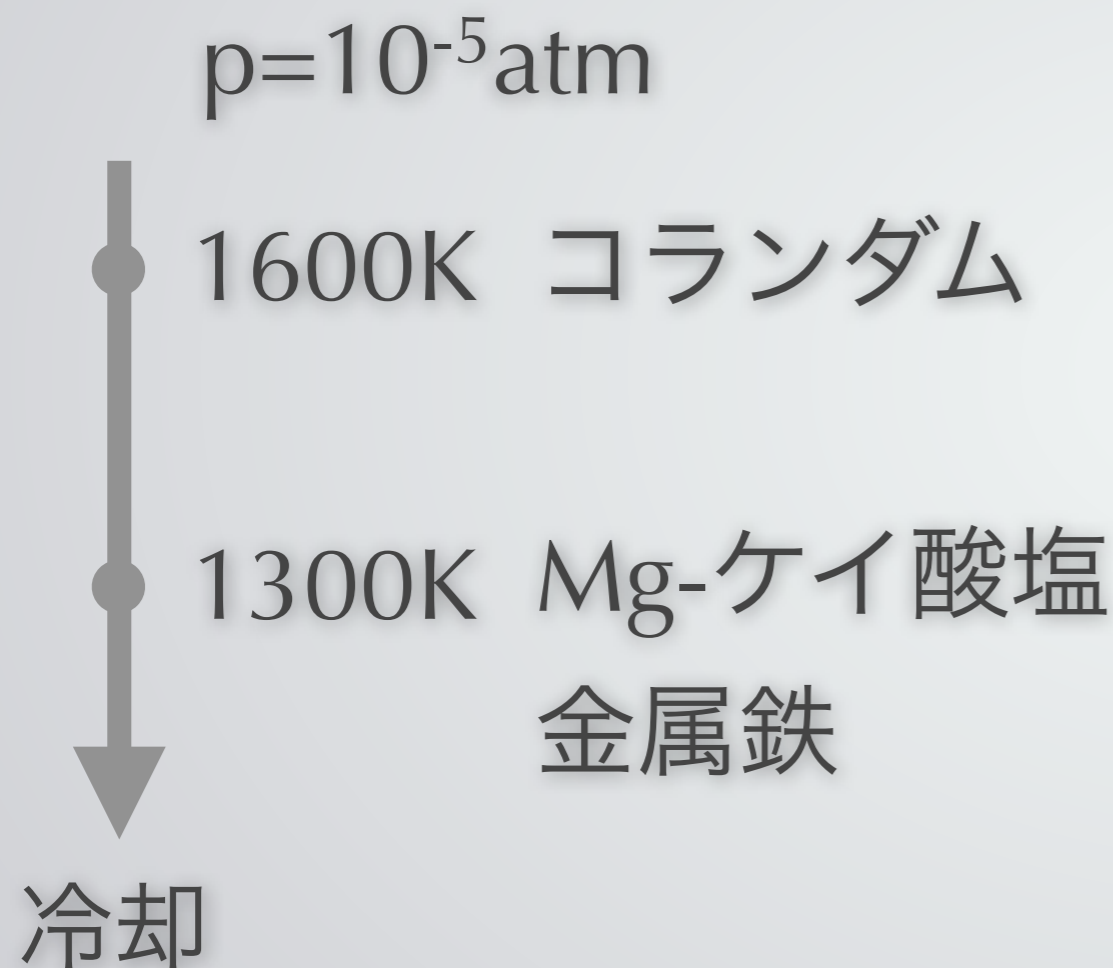
- 存在度・種類・円盤の空間・年齢との関係
- 惑星形成に至る物質進化

晩期型星

- 恒星から放出される金属元素のキャリア
- 質量放出風加速の引金

コランダム (Al_2O_3)

高温酸化的气体から**最初に凝縮・主要固体の凝縮核**



原始惑星系円盤

隕石中コランダム粒子

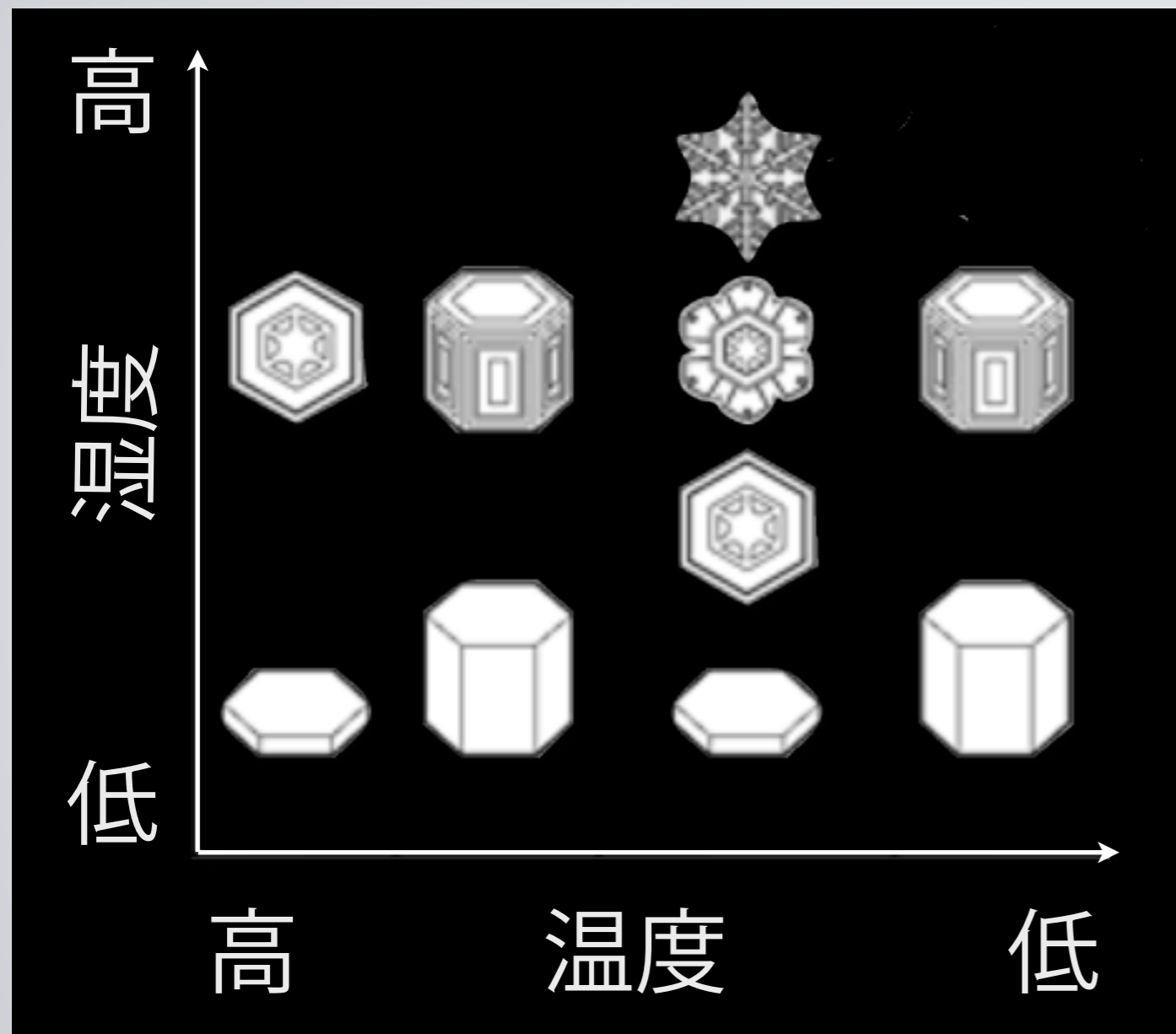
酸化的晩期型星

シリケートと共に観測

される $13\ \mu\text{m}$ 放射源の候補

宇宙における物質進化の起点としてのコランダム形成

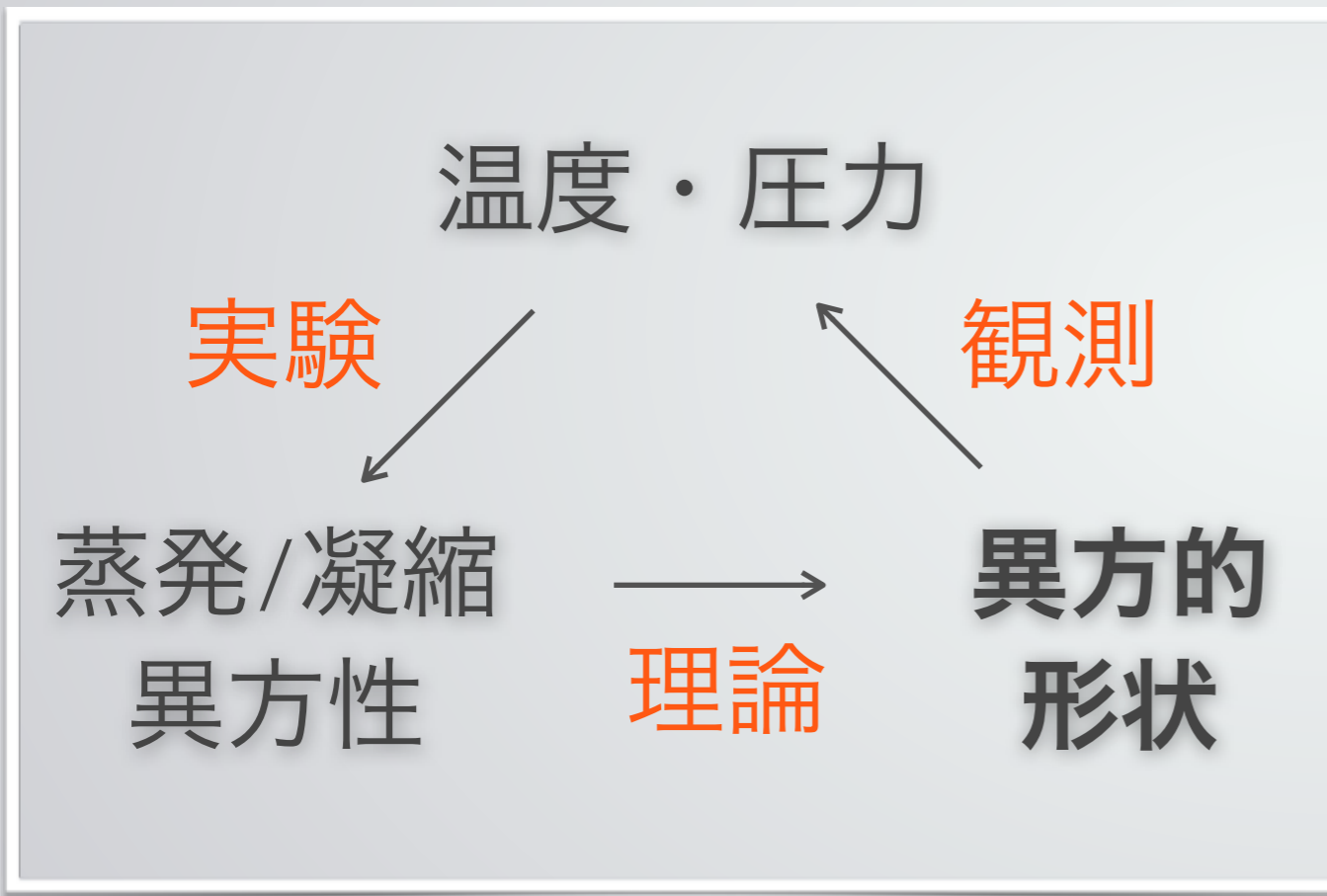
ダストは天からの手紙？



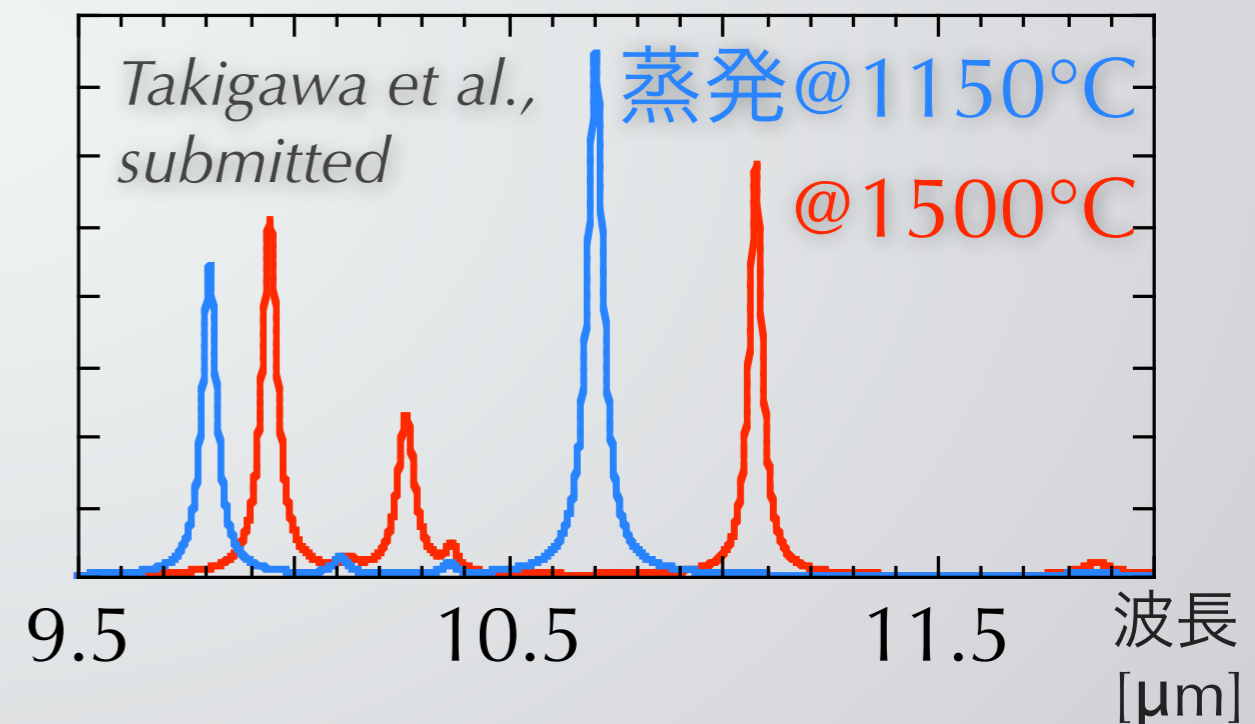
結晶の形が“形成環境”を記録している！

ダストの異方的形状

結晶の原子配列異方性 → 結晶成長・誘電率の異方性



フォルステライトダストの
赤外スペクトル



異方的形状はダスト形成環境を反映した観測可能量

目的

- ① 実験
 - ・ コランダム凝縮・蒸発異方性の決定
- ② 理論
 - ・ コランダムの非平衡凝縮
 - ・ 異方的形状を考慮したコランダムダストの赤外スペクトル計算
- ③ 観測
 - ・ 隕石中のコランダム粒子の形状解析
 - ・ 晩期型星の赤外観測

原始惑星系円盤・晩期型星周における
コランダム形成条件を推定

コランダム凝縮実験

基板上に成長するコランダム粒子の異方的形状を調べる



真空抵抗加熱炉



コランダム凝縮実験

基板の上に成長するコランダム粒子の異方的形状を調べる



コランダム凝縮実験

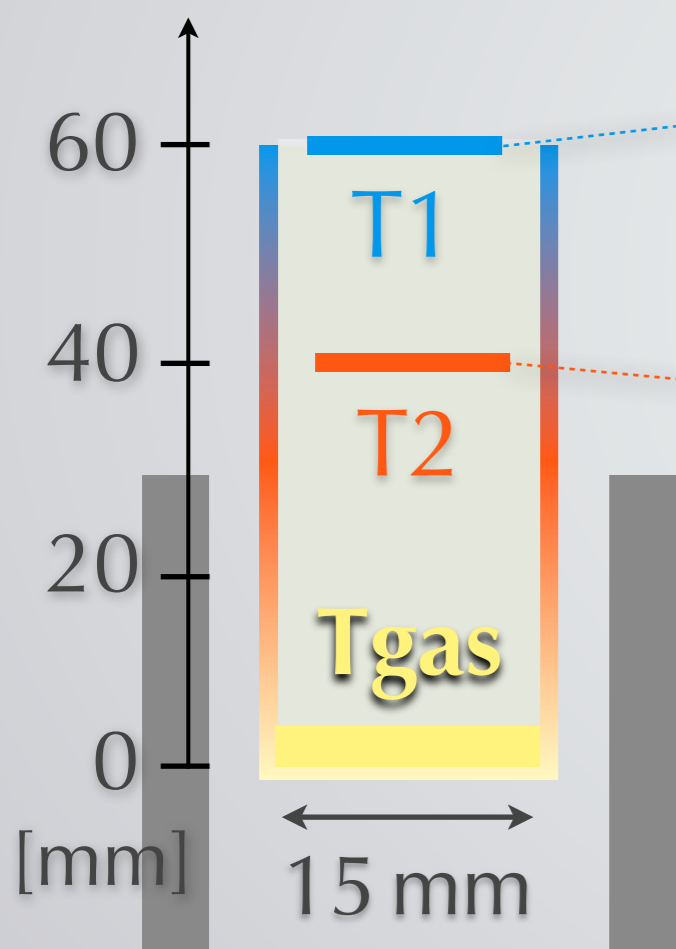
基板の上に成長するコランダム粒子の異方的形状を調べる



コランダム凝縮実験

基板の上に成長するコランダム粒子の異方的形状を調べる

過飽和比 S



$$S1 = \frac{f_{in}}{f_{out}(T1)}$$

$$S2 = \frac{f_{in}}{f_{out}(T2)}$$

一回の実験で過飽和比のみ異なる凝縮物

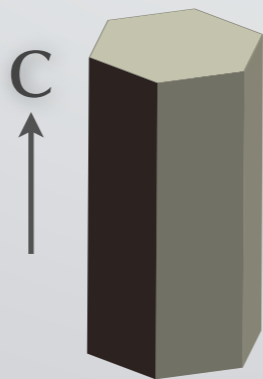
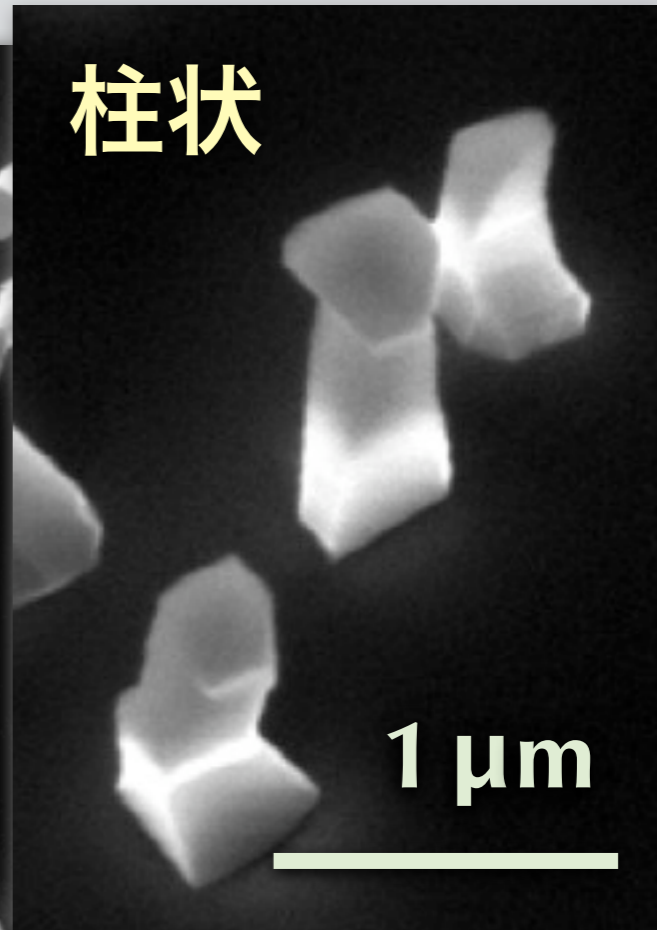
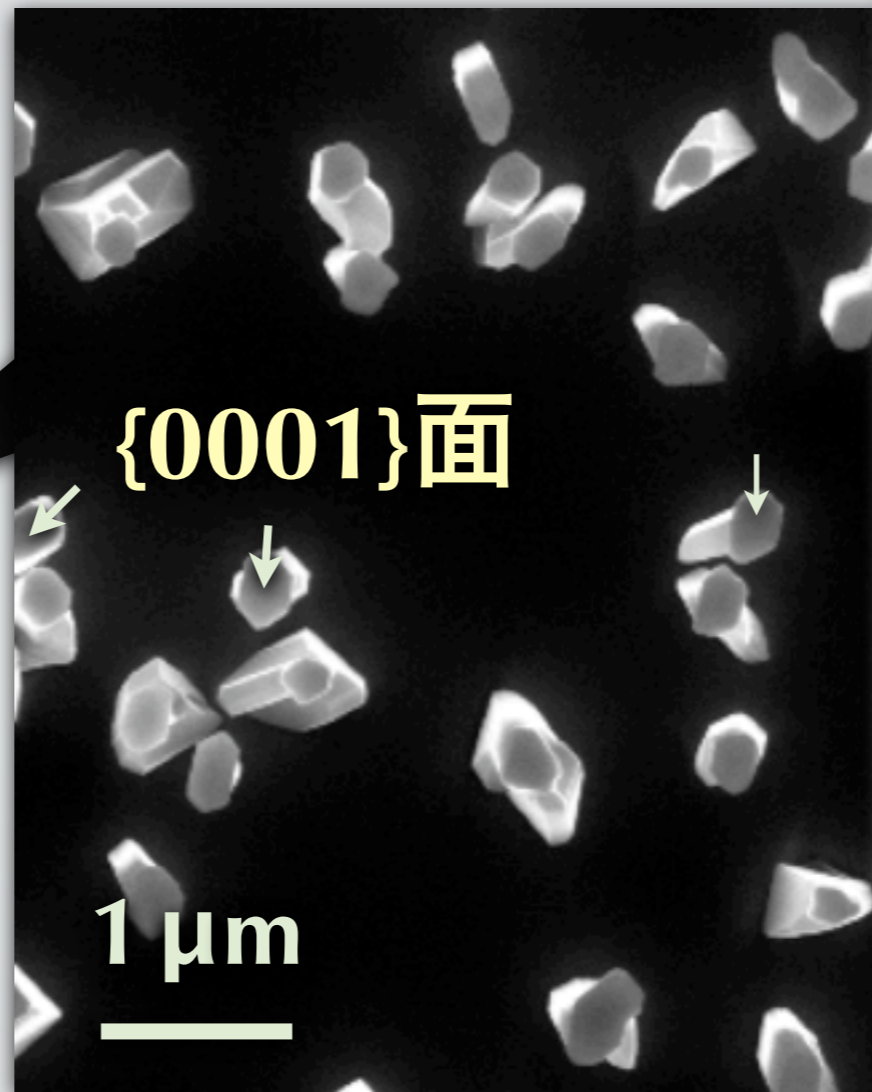
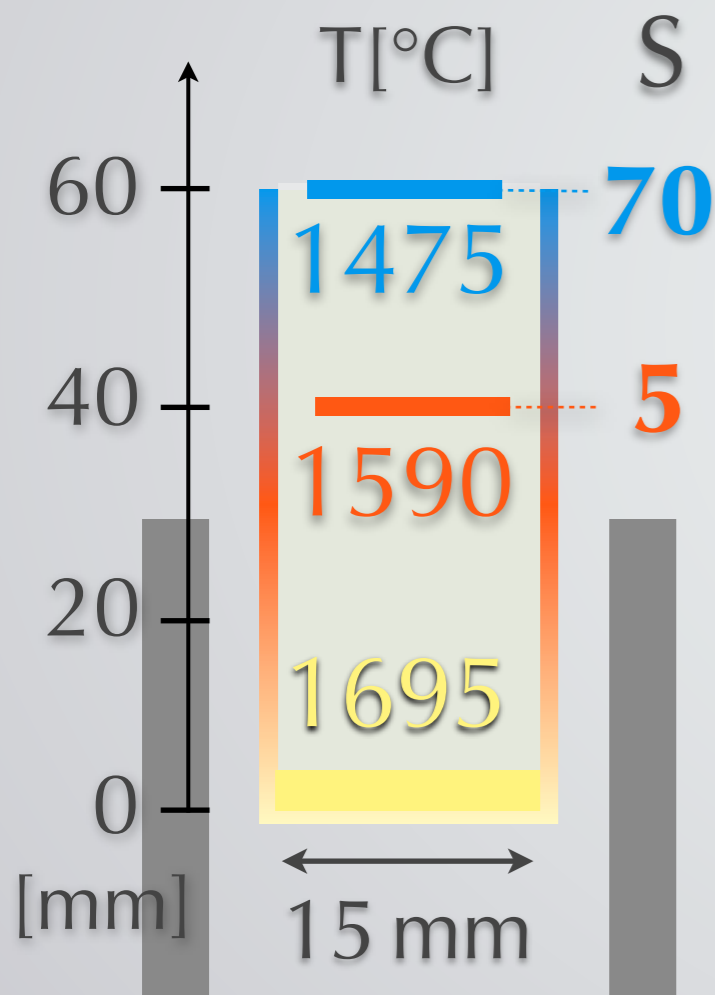
T_{gas} [°C]	T1 [°C]	S1	T2 [°C]	S2	t [h]
1695	1590	5	1475	70	9
1605	1490	9	1370	180	6,12,18
1535	>1435	<5	-	-	240
1505	1380	15	1260	330	120,360

圧力： 5×10^{-5} Pa

凝縮物と過飽和比 $S=70$

圧力 5×10^{-5} Pa

時間 9 hrs

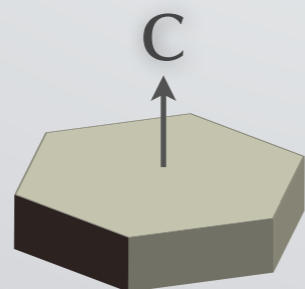
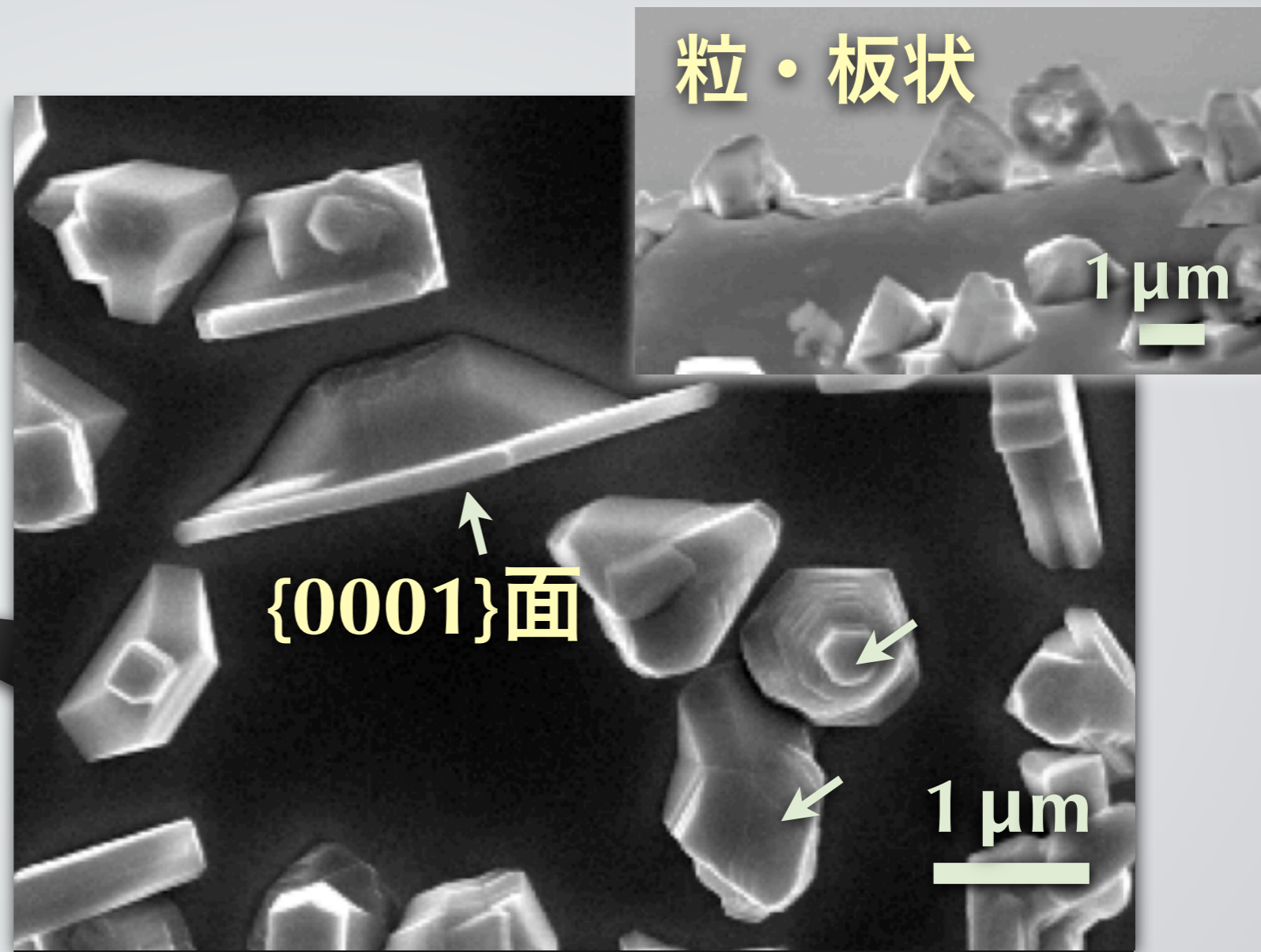
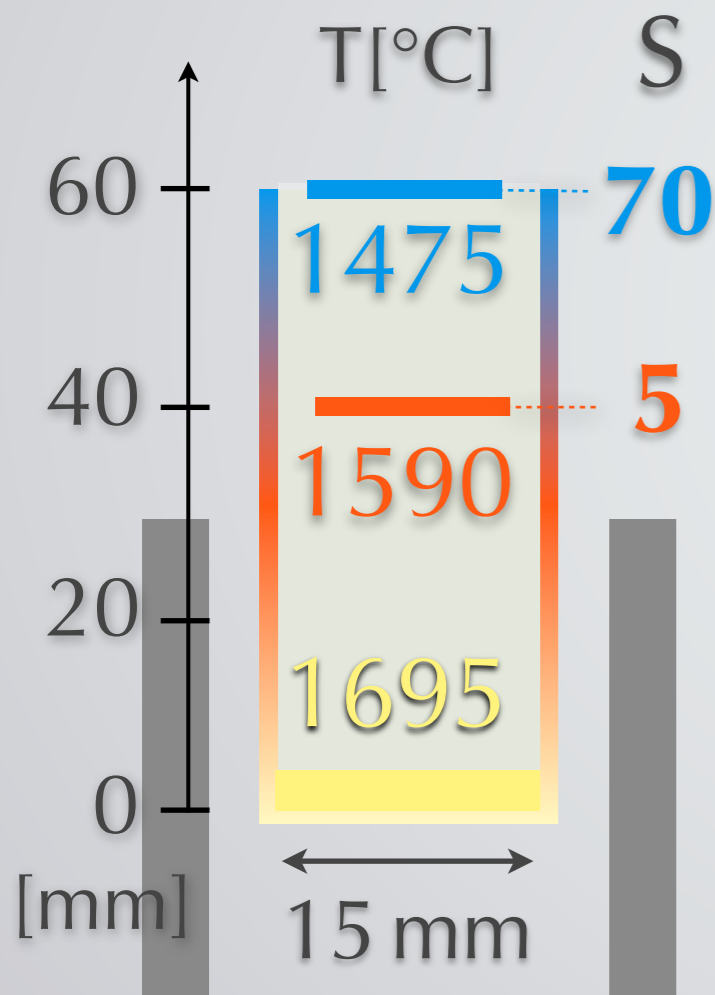


c軸に伸びた α -コランダム

凝縮物と過飽和比 $S=5$

圧力 5×10^{-5} Pa

時間 9 hrs

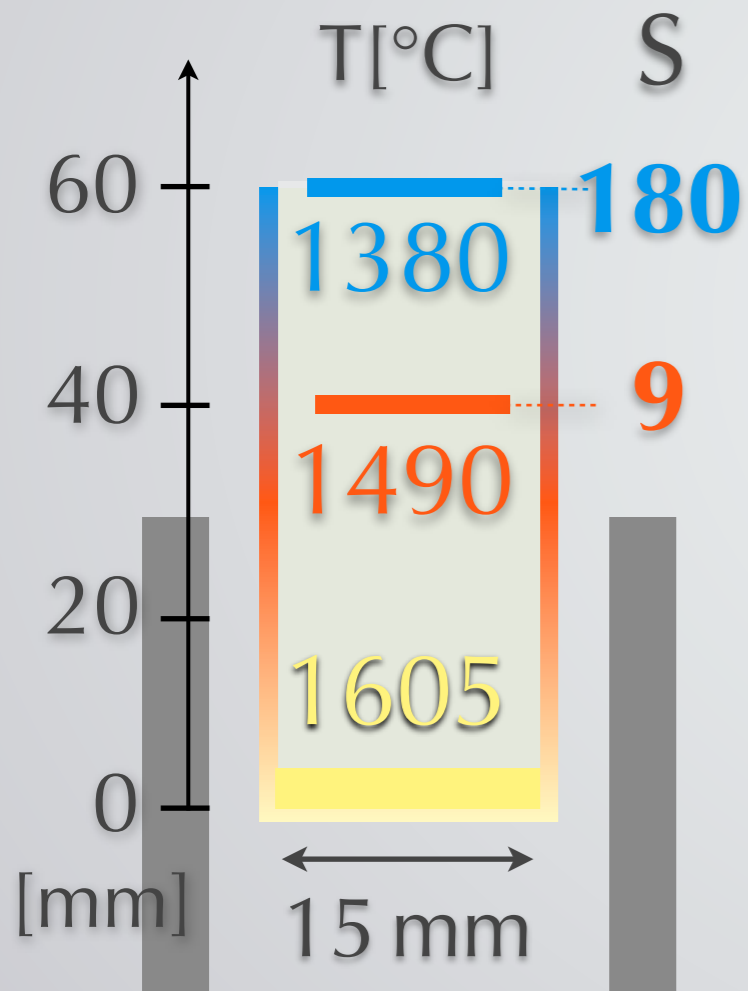


c軸につぶれた α -コランダム

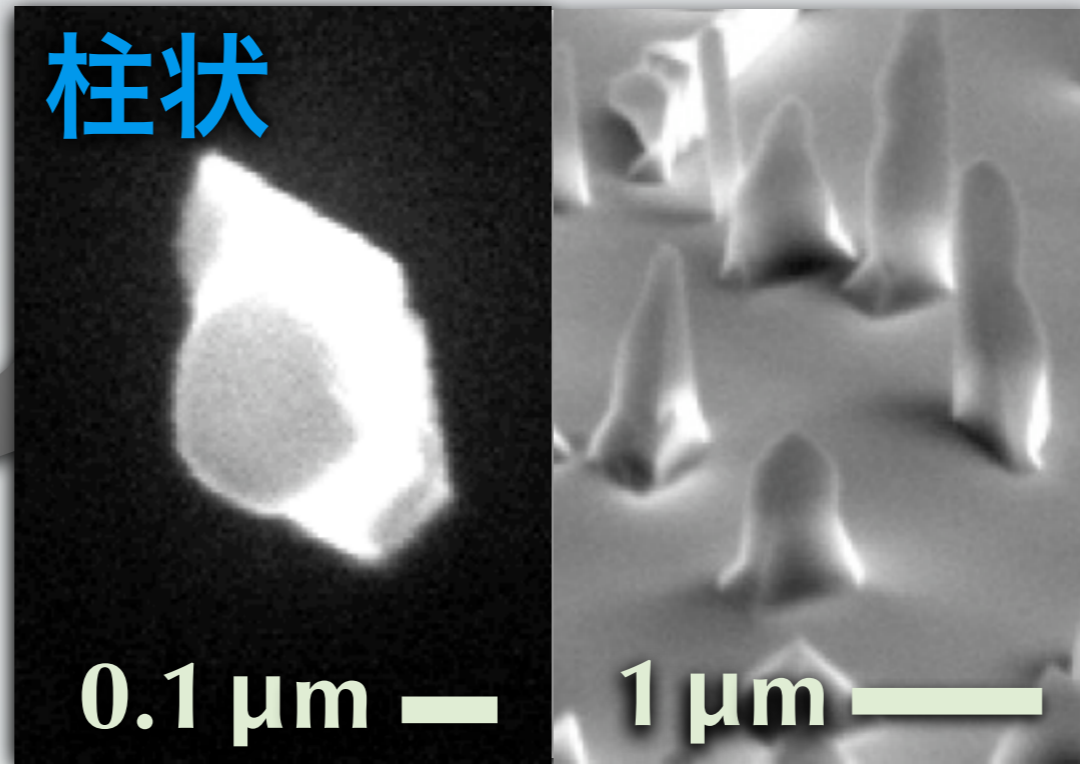
凝縮物と温度・過飽和比

圧力 5×10^{-5} Pa

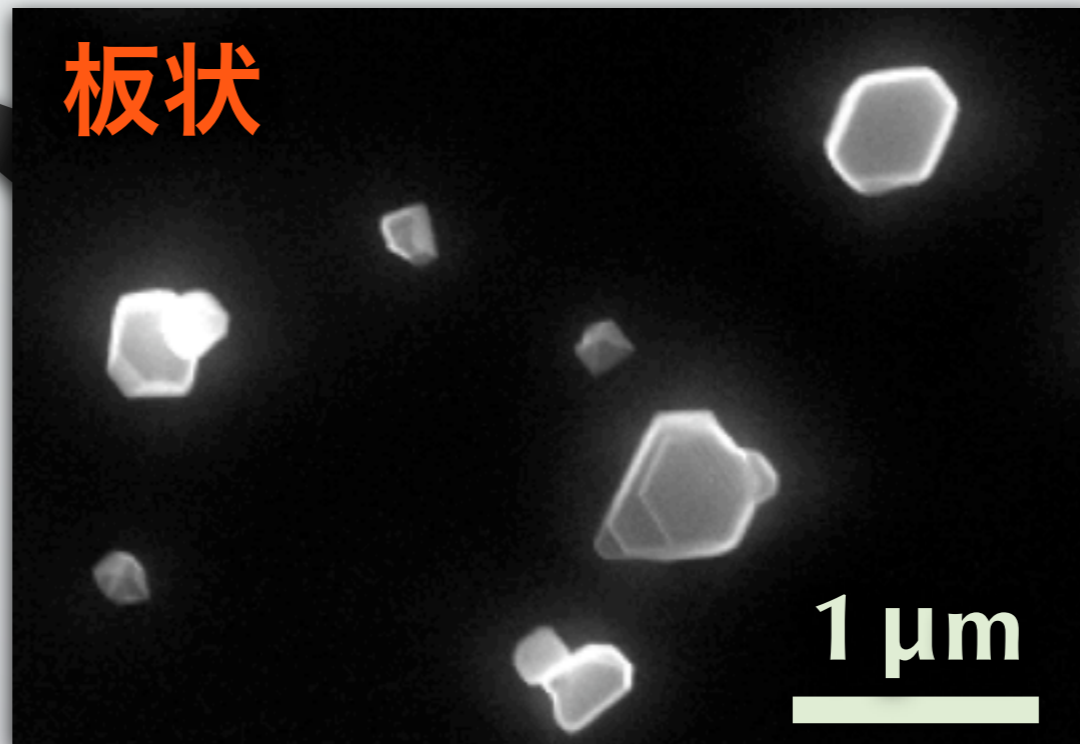
時間 18 hrs



柱状



板状



過飽和比
が形状を
支配する

形成条件と成長形

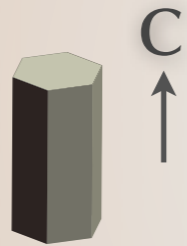
過飽和比 S と
凝縮/蒸発温度の関係

$S < 15$: 温度に関わらず
 c 軸につぶれた板状 or 粒状

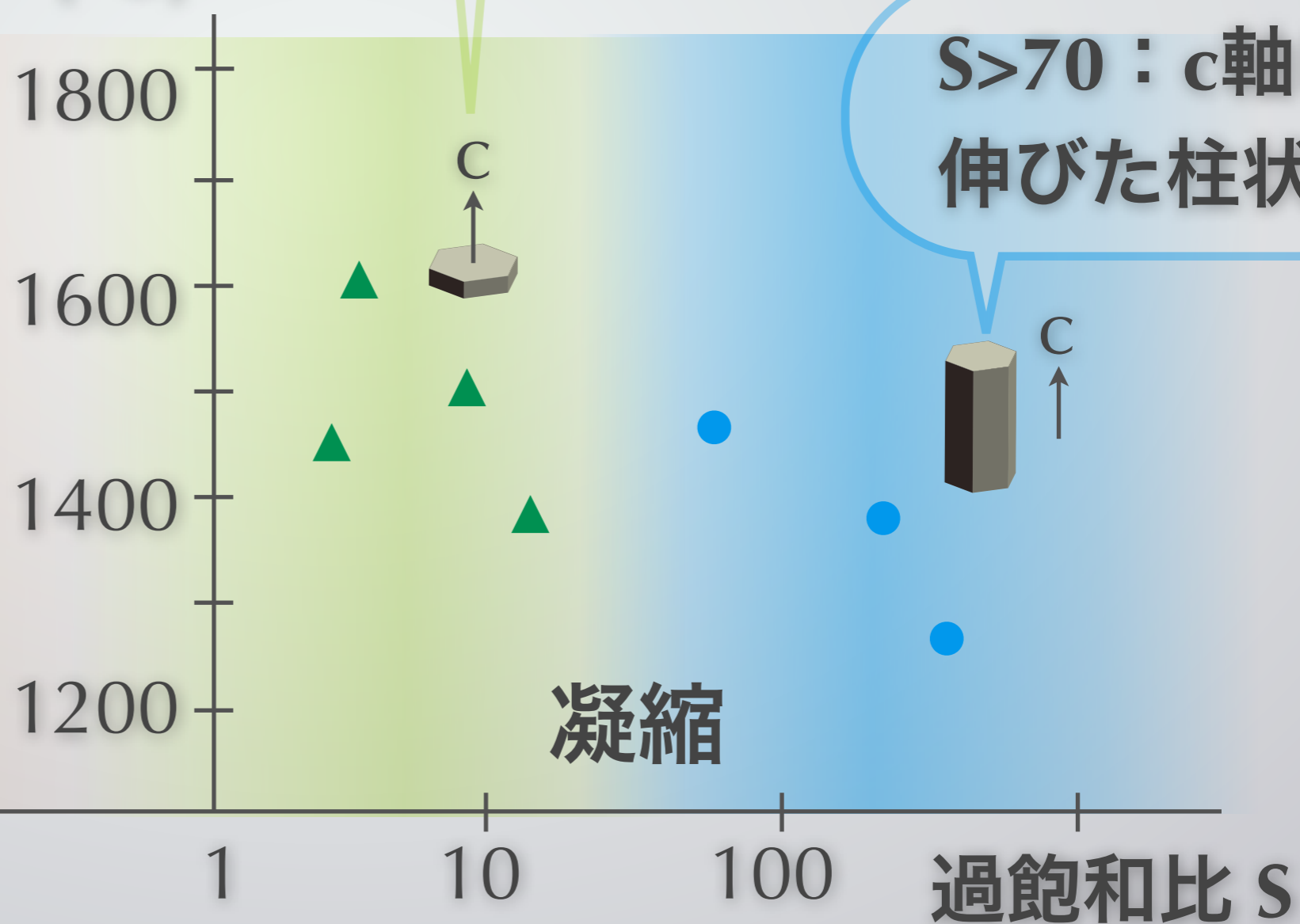
$S > 70$: c 軸に
伸びた柱状

高温加熱 : c 軸
に伸びた柱状

1770°C



[°C]



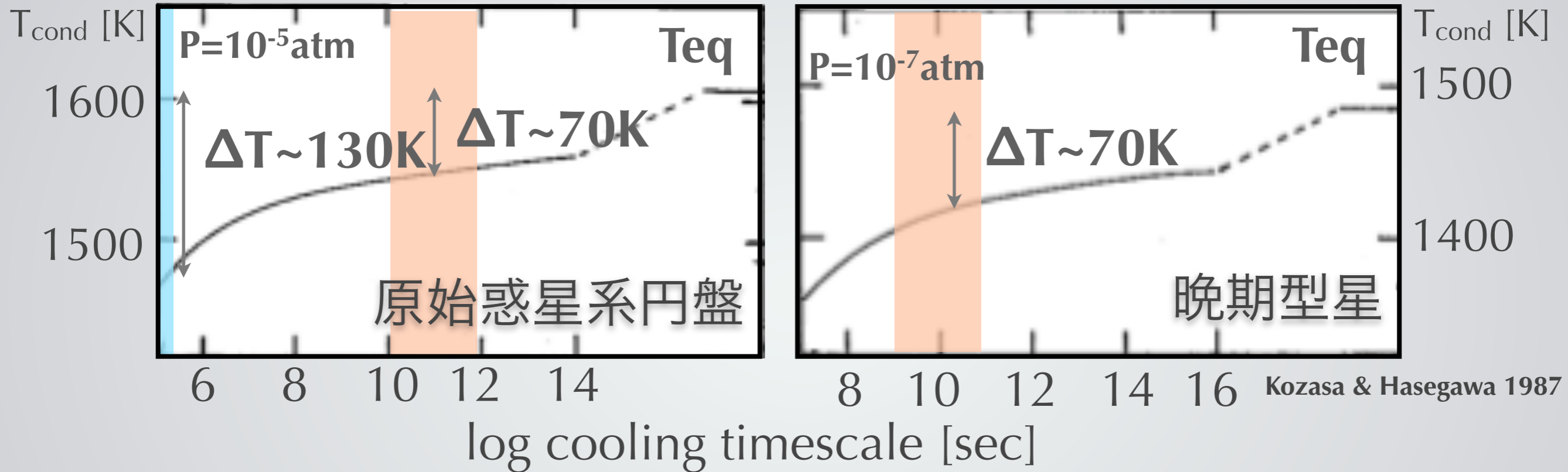
蒸発

凝縮

過飽和比 S

星周環境でのコランダム形成

冷却タイムスケールと過冷却度



円盤規模(10³⁻⁵年) : ΔT=50-100K
質量放出風
($\dot{M}=10^{-(4-6)}M_{\odot}$) → 粒/板状

局所的熱イベント : ΔT>100K → 柱状

形成条件と成長形

非平衡凝縮モデル

→ 冷却時間と過飽和比

[Kozasa & Hasegawa, 1987] [°C]

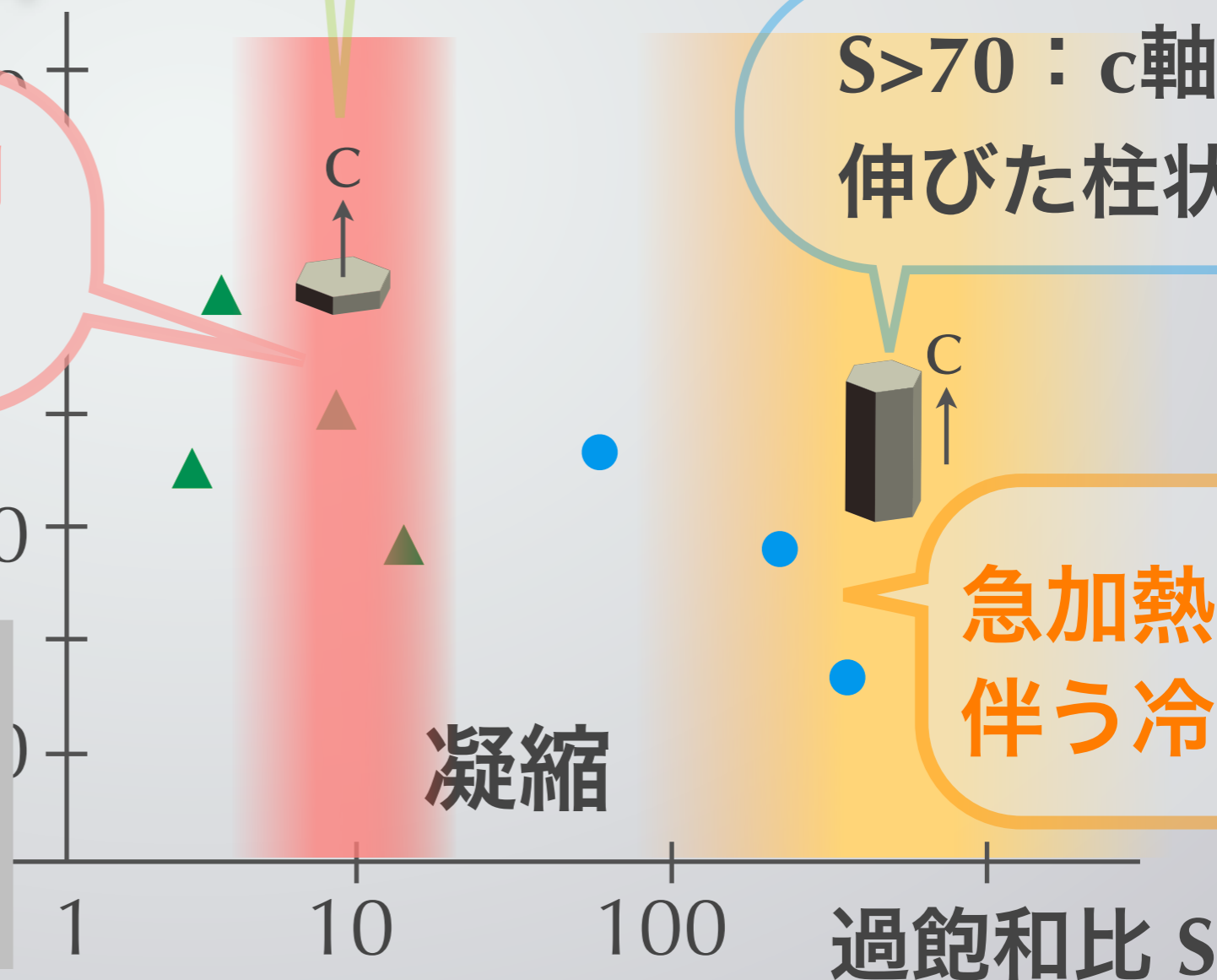
- 原始惑星系円盤の冷却
- 質量放出風

形状から形成環境が
推定できる可能性

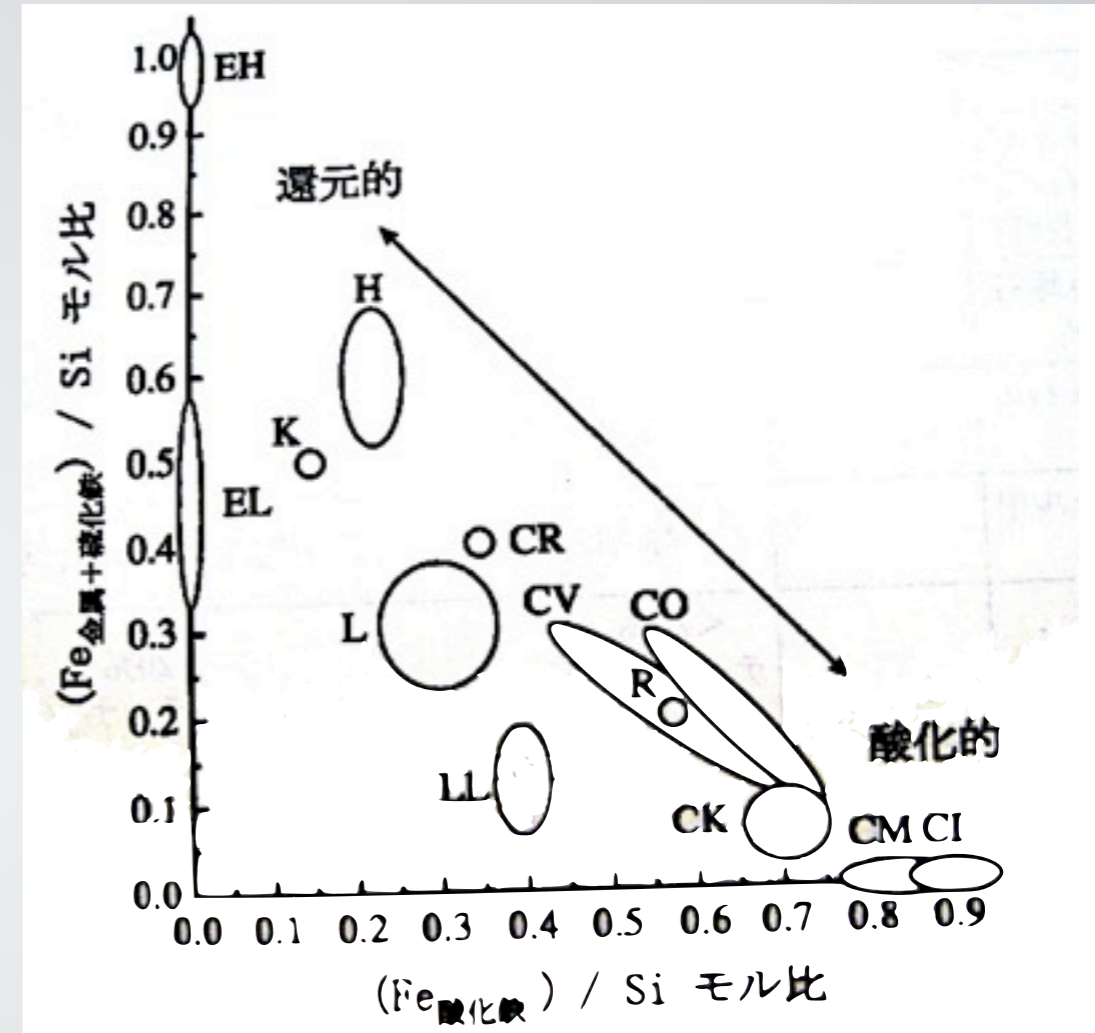
$S < 15$: 温度に関わらず
c軸につぶれた板状 or 粒状

$S > 70$: c軸に
伸びた柱状

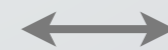
急加熱に伴う冷却



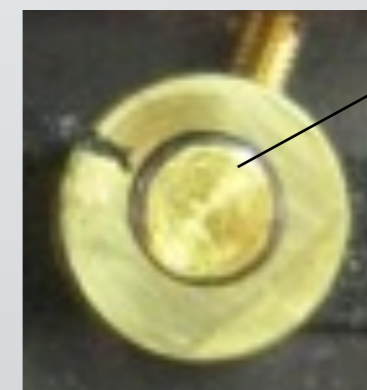
原始太陽系円盤のコラランダム



6mmΦ

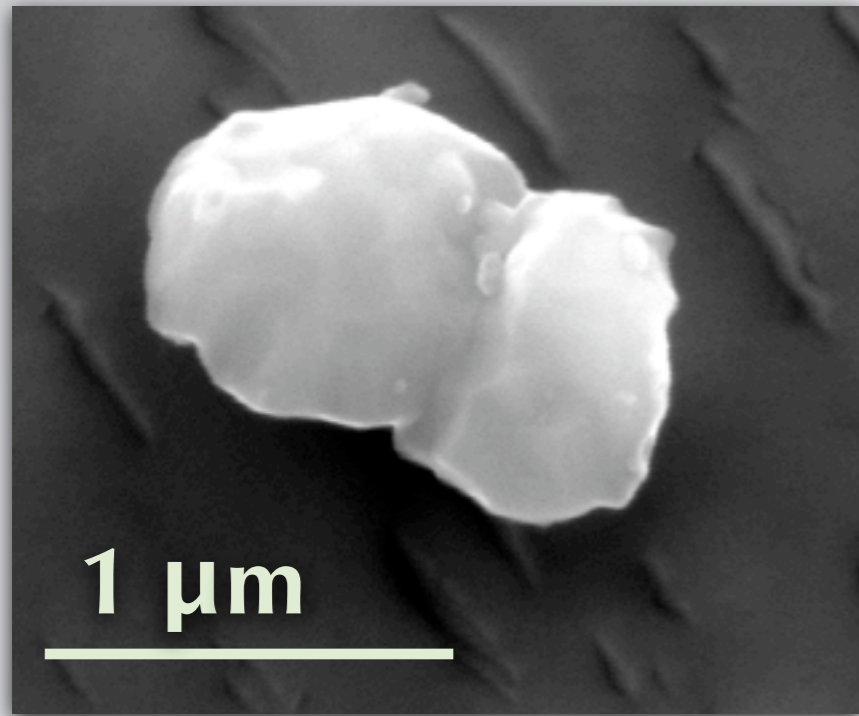


Au箔



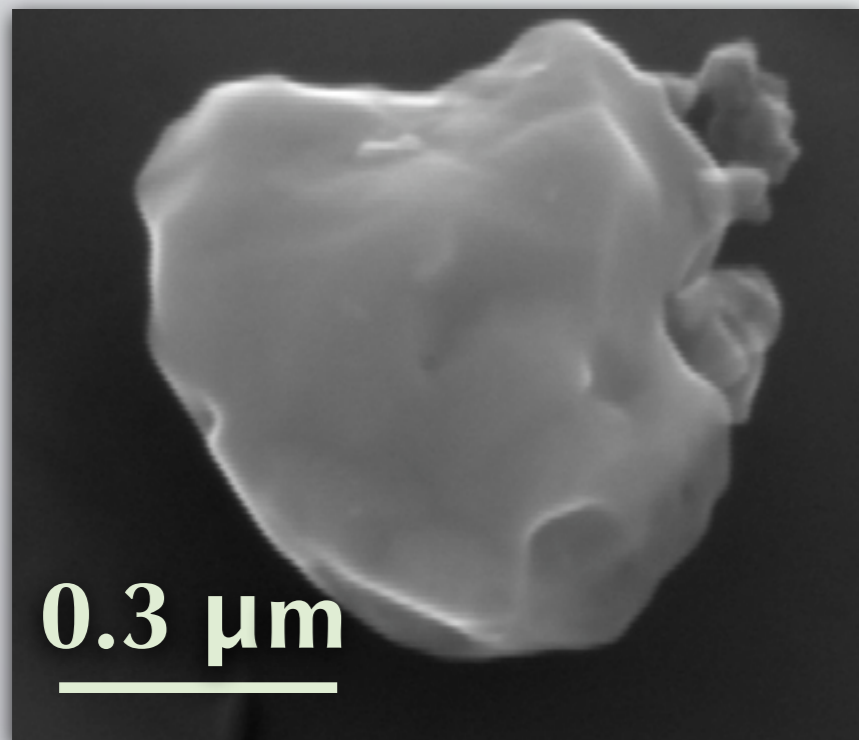
酸処理して抽出した酸化物粒子

原始太陽系円盤のコランダム



Semarkona 隕石 (非平衡普通コンドライト) 中のコランダム粒子

→ 粒状粒子が大半, c軸方向に柱状の粒子は存在しない

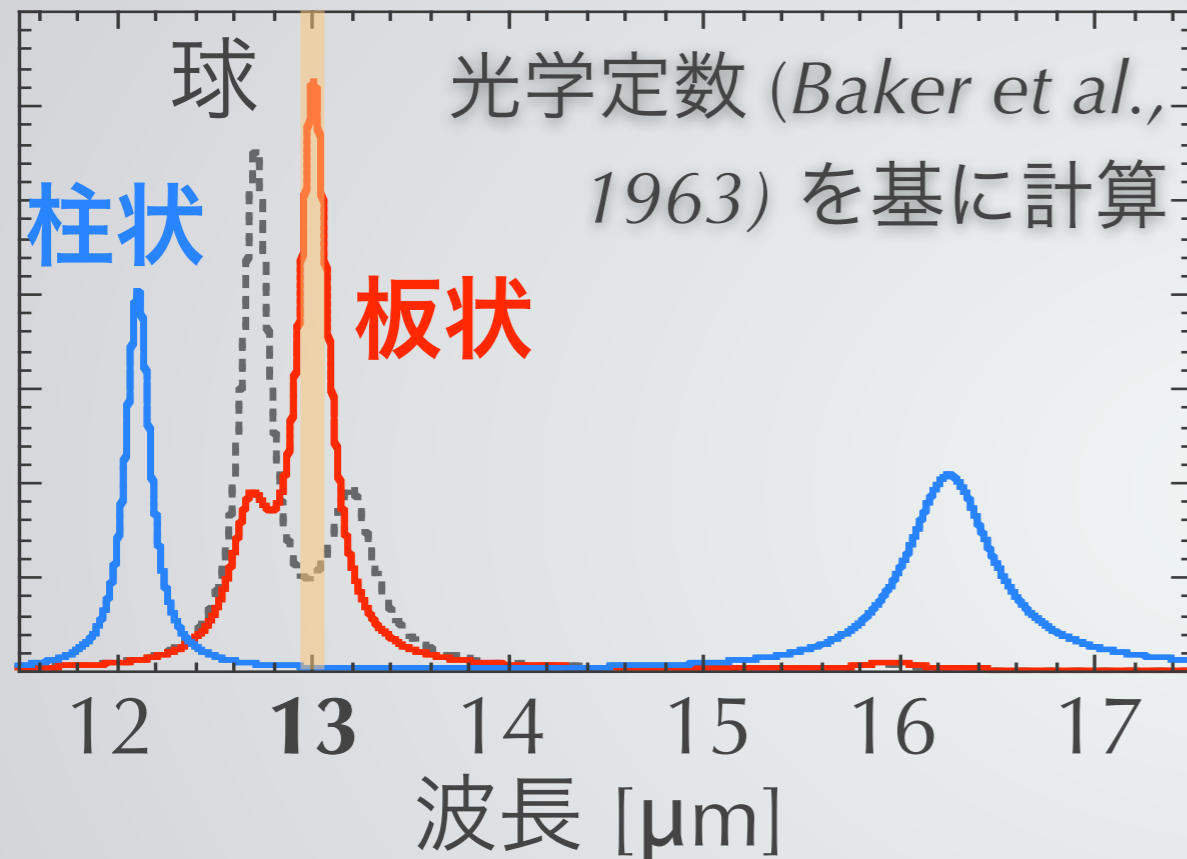


$S < 15$ の凝縮条件を示唆

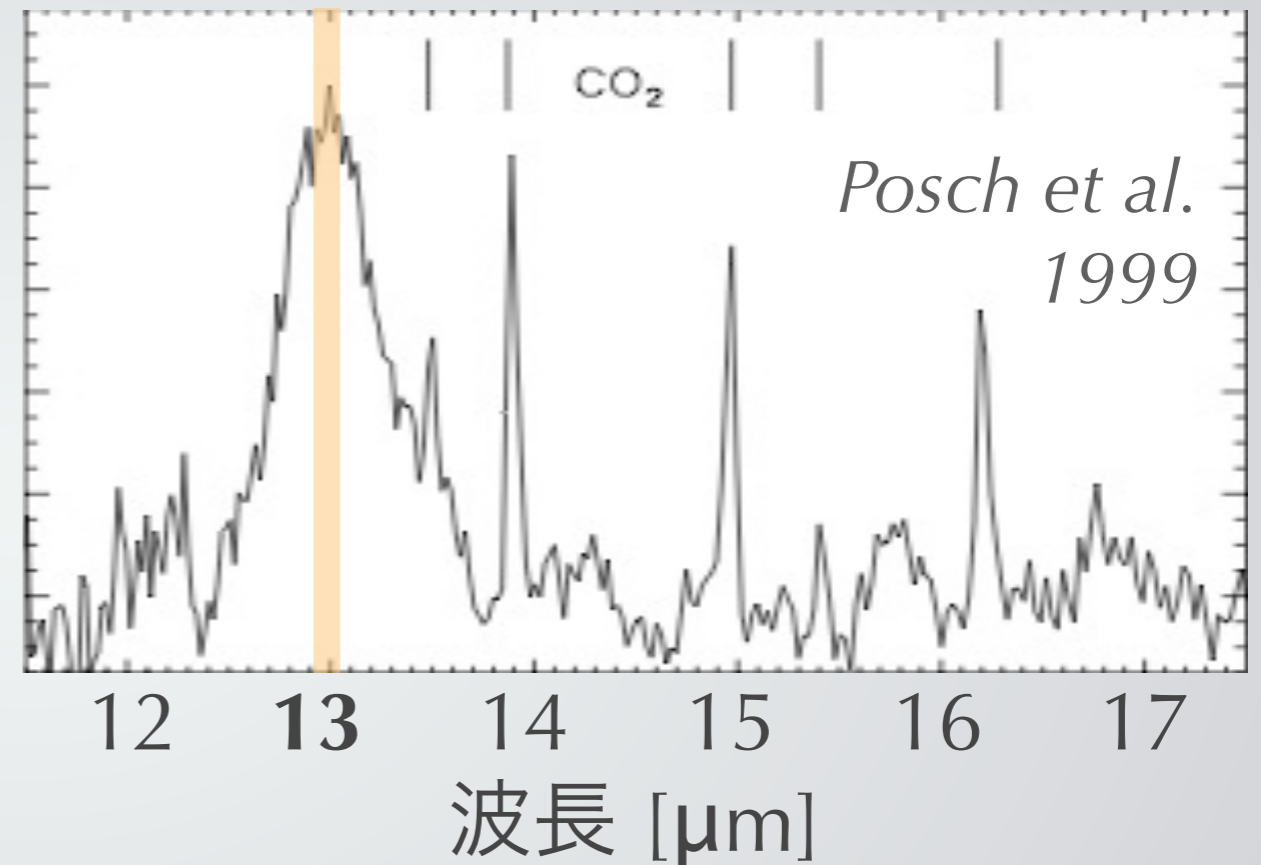
→ **原始太陽系円盤の冷却**
(10^3 - 5 年) で形成

晩期型星周のコランダム

コランダム質量吸収係数



O-rich AGB星の観測



c軸につぶれた板状コランダム ($c_{//}:c_{\perp}=2:3$) が
晩期型星の**13 μm ピーク**を再現

凝縮条件 $S < 15$ を示唆：質量放出風での形成条件と調和的

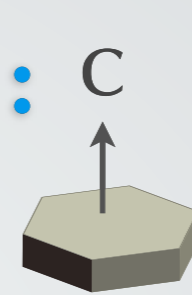
結論

コランダム凝縮異方性による星周ダスト形成環境の推定

✓ 実験

凝縮異方性が**過飽和比**に依存し変化

$S < 15$:



$S > 70$:



✓ 理論

板状/柱状形状は赤外スペクトルで判別可

- 円盤の冷却
- 質量放出風

- 瞬間加熱

✓ 観測

- 原始太陽系円盤
- 晩期型星

- 隕石中コランダム
- $13 \mu\text{m}$ ピーク

今後

主要ケイ酸塩鉱物形成環境を解明

→ 惑星材料多様性の起源・宇宙での物質循環の理解へ